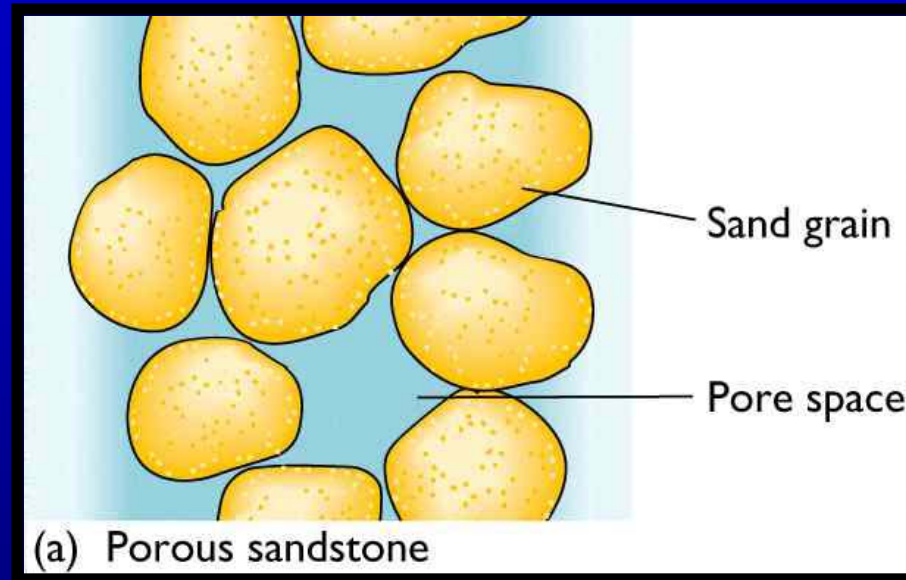


## L'ACQUA NEL MEZZO POROSO



*Docente:*

**Alessandro Gargini**

(E-mail: [alessandro.gargini@unibo.it](mailto:alessandro.gargini@unibo.it))

# Porosità

- La porosità è una semplice proprietà legata alla frazione di vuoti presenti nella roccia.
- Questa proprietà NON É legata alla facilità con cui l'acqua si muove nella roccia o può essere estratta dalla roccia.

# Tipi di porosità

- Primaria –pori fra grani.
- Secondaria -fratture, vuoti da dissoluzione (es., carsismo).
- Porosità efficace: volume totale di pori interconnessi sul volume totale del mezzo poroso (pori efficaci o conduttivi).

# Porosità

$$n = \frac{V_v}{V_T} = \frac{V_w}{V_w + V_s} \quad \text{satura}$$
$$= \frac{V_w + V_g}{V_w + V_g + V_s} \quad \text{non satura}$$

La porosità non va confusa con l'indice dei vuoti ( $e$ ).

$$n = \frac{e}{1+e}$$

$$e = \frac{n}{1-n}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

In idrologia ed idrogeologia, la quantità d'acqua presente in un mezzo poroso viene generalmente espressa in termini di contenuto volumetrico d'acqua ( $\theta$ ) che è un rapporto tra volumi ( $V$ ), al contrario del contenuto d'acqua ( $w$ ) che è un rapporto tra pesi ( $W$ ) e viene più comunemente utilizzato in geotecnica.

$$\theta = \frac{V_w}{V_{tot}}$$

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

$$e = w \cdot G_s$$

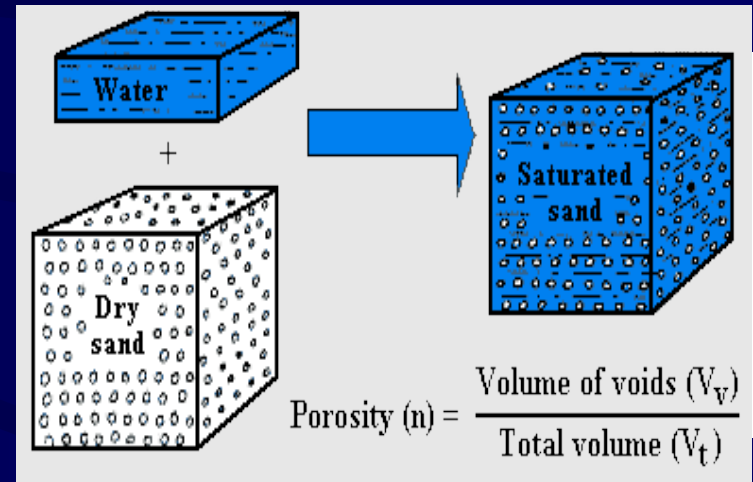
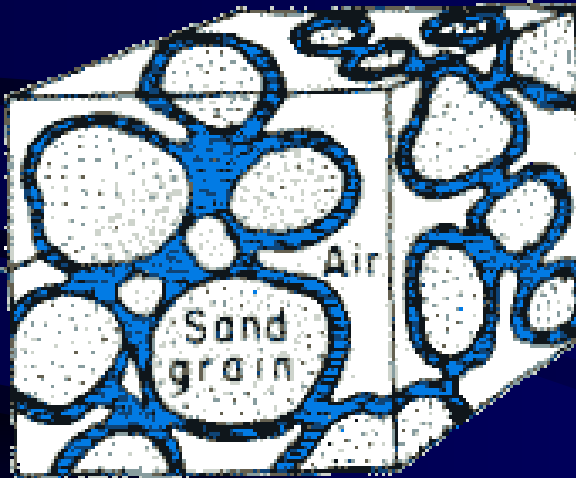
dove  $G_s$  = peso specifico dei granuli

# IN UN MEZZO SATURO

*$S$  = grado di saturazione = 1 (100%)*

*$n$  = porosità = contenuto volumetrico d'acqua  $\theta$*

Acqua



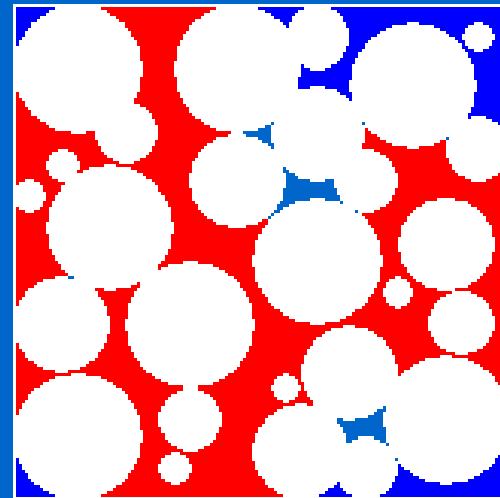
$$n = V_v / V_{\text{tot}}$$

$$S = V_w / V_v$$

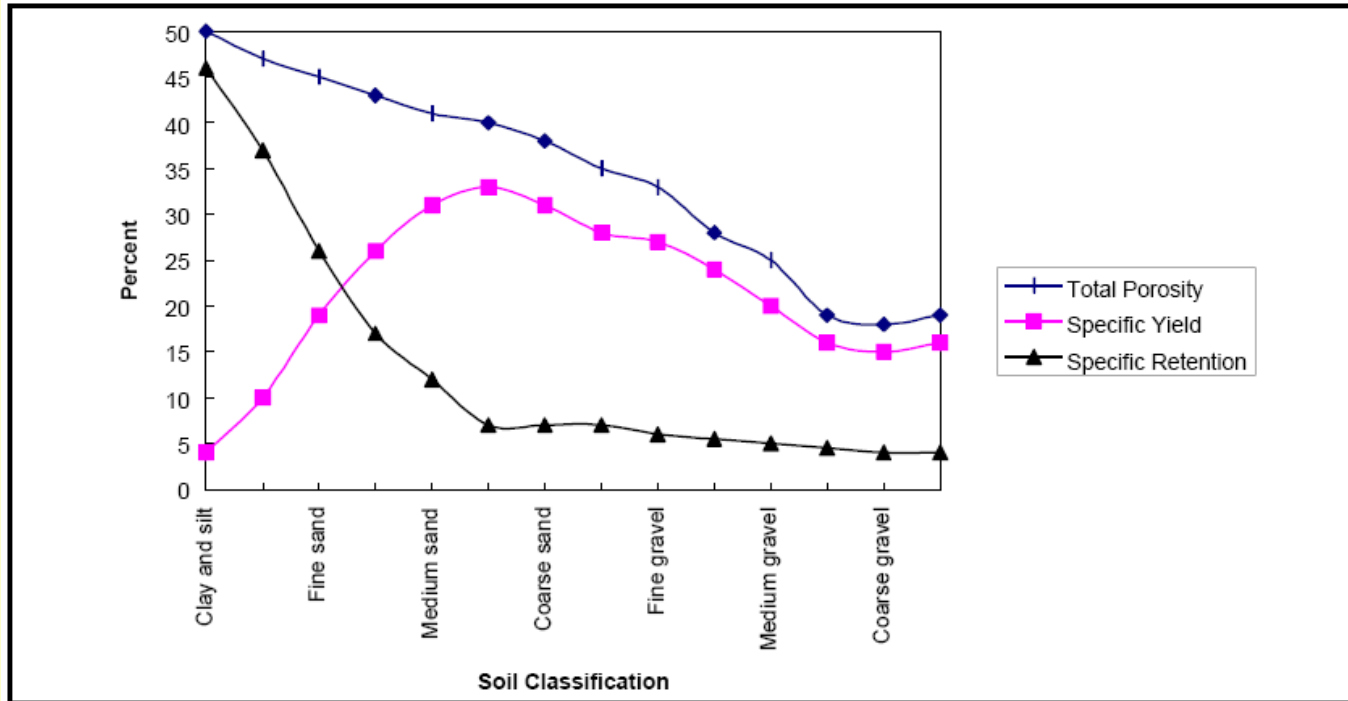
$$\theta = V_w / V_{\text{tot}}$$

# Porosità efficace $n_e$

- Volume totale di pori interconnessi sul volume totale del mezzo poroso
- Include:
  - Pori efficaci o conduttivi (macropori o fessure)



La porosità totale di un materiale influenza la sua capacità di immagazzinamento di acqua mentre la porosità efficace influenza la sua capacità di essere attraversato da un fluido ed è misura del volume dei soli vuoti interconnessi.



$$S_y = \frac{V_{wg}}{V_{tot}}$$

$$S_r = \frac{V_{wr}}{V_{tot}}$$

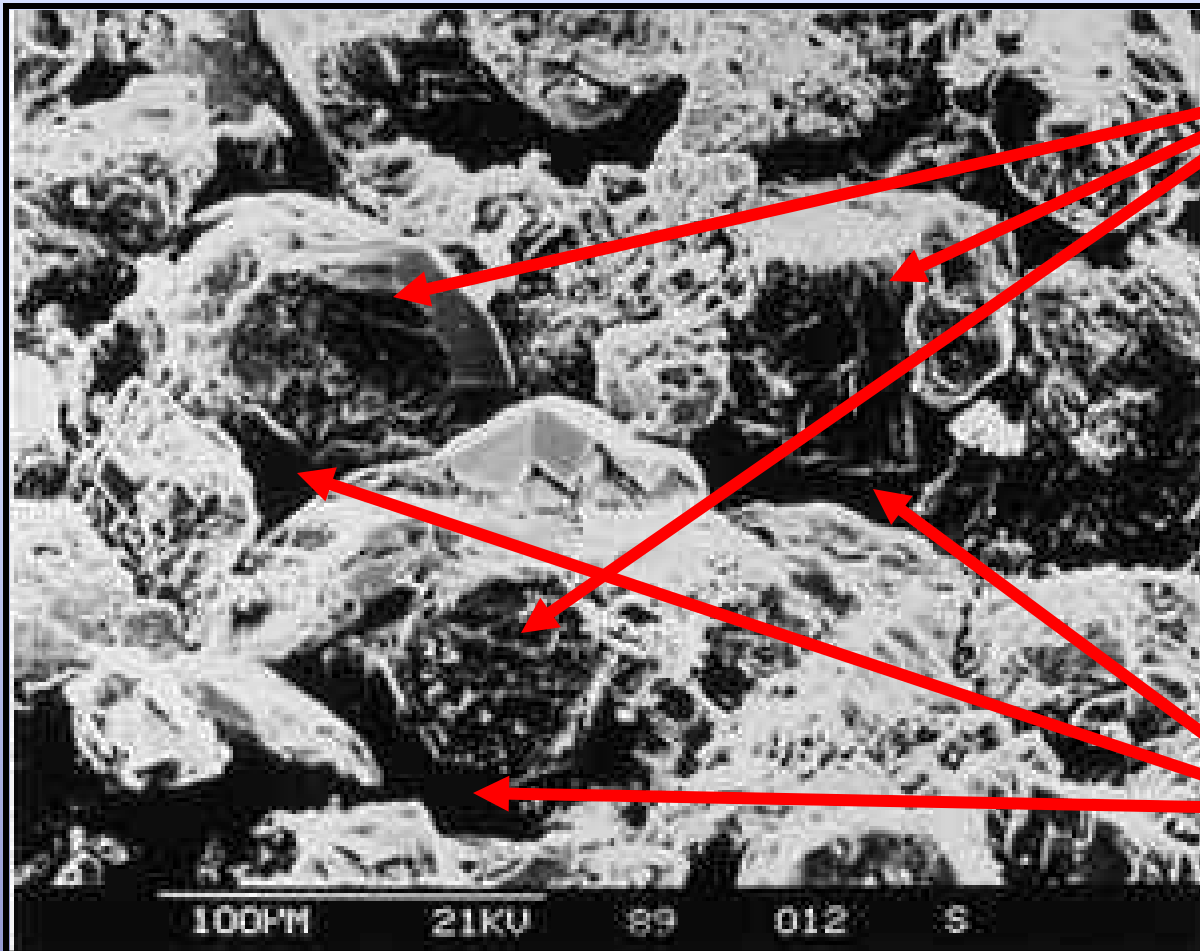
Si definisce rilascio specifico  $S_y$  il rapporto tra il volume di acqua drenata da un terreno/roccia per l'effetto della gravità ( $V_{wg}$ ) ed il suo volume totale ( $V_{tot}$ ). Il rilascio specifico è una proprietà del mezzo e, se sommato alla ritenzione specifica  $S_r$ , dà la porosità totale.



# Genesi geologica dei pori

SCALA	TIPI DI VUOTI		TIPI DI MEZZO	
Microscopica < 1 mm	Pori	<i>Intercristallici</i> <b>Intergranulari</b> <b>(interstizi)</b>	Poroso	Continuo
	Microfessure	Diaclasi Giunti Scistosità	Fessurato	
Macroscopica > 1 mm	Macrofessure	Macrofessure		Discontinuo
		Canali Cavità carsiche		

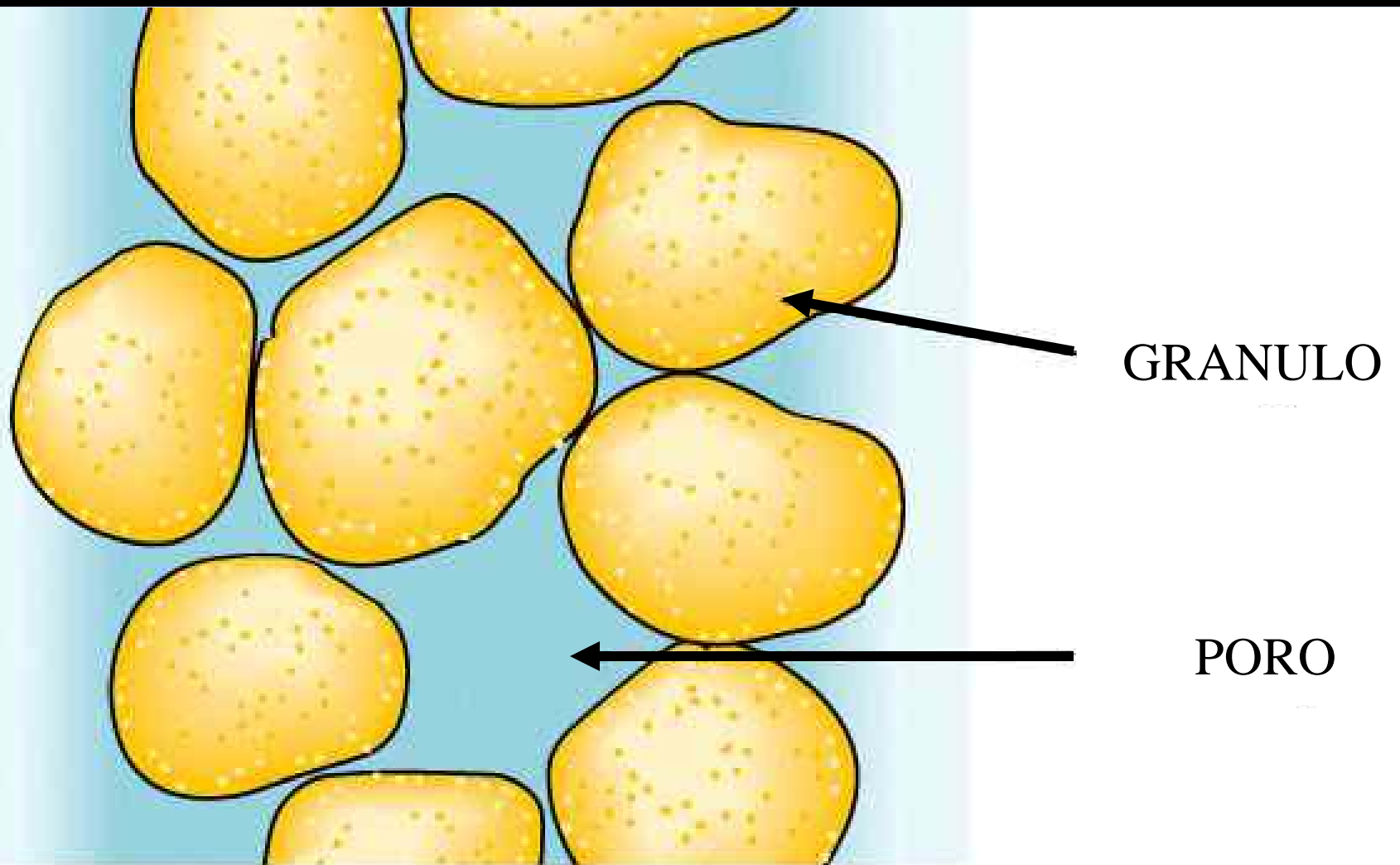
# Porosità per interstizi



Granuli di  
sabbia

Porosità  
primaria

# Porosità per interstizi

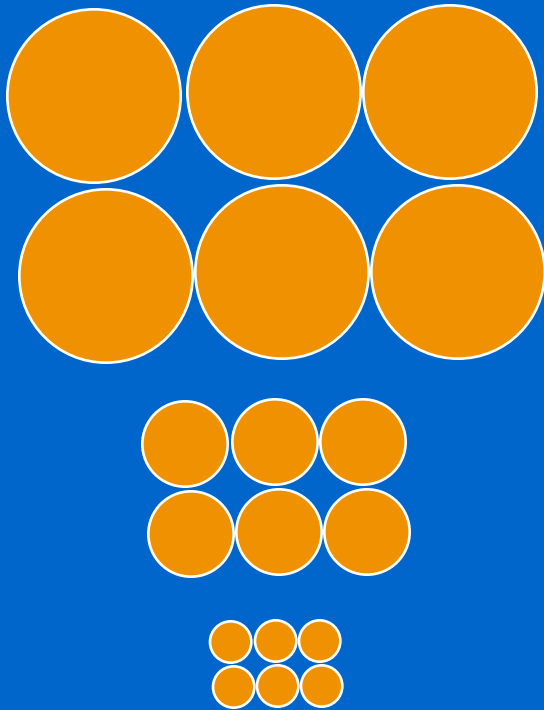


SABBIA

# Porosità per interstizi: i fattori

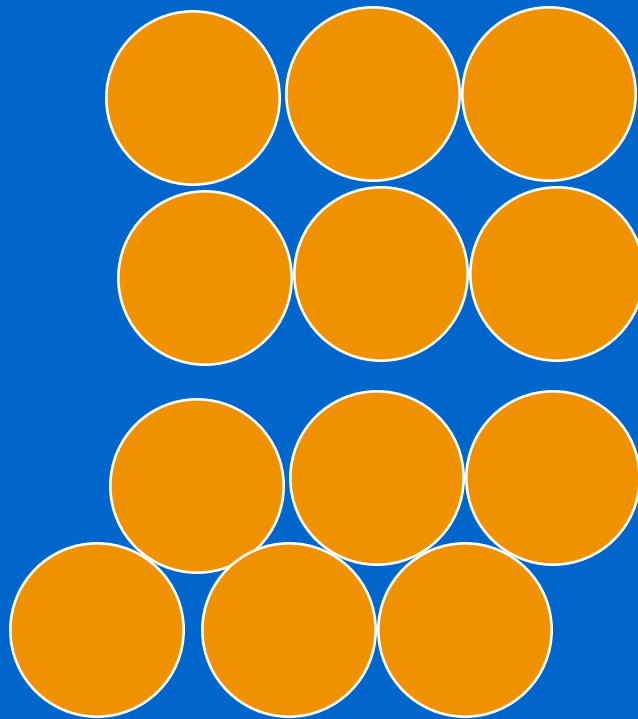
- Dimensioni
- Forma, sfericità/arrotondamento.
- Cernita.
- Cementazione.
- Impaccamento

# Effetto delle dimensioni



**Dove si ha la massima  
porosità?**

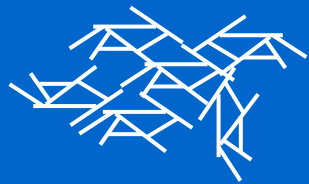
# Porosità di sfere



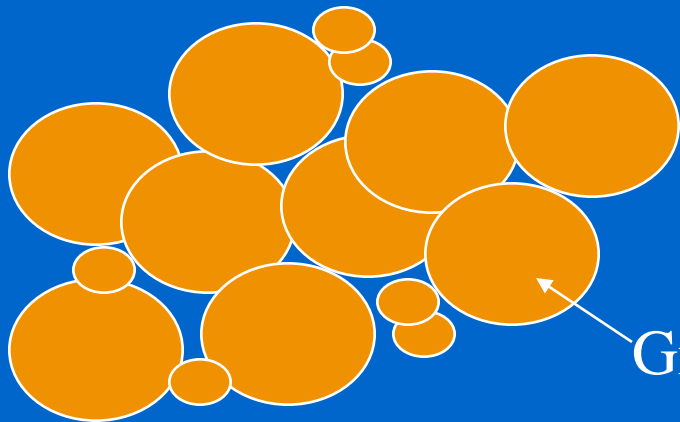
Cubico  
 $n = 0.48$

Romboedrico  
 $n = 0.26$

# Effetto della forma dei grani



**Argille**



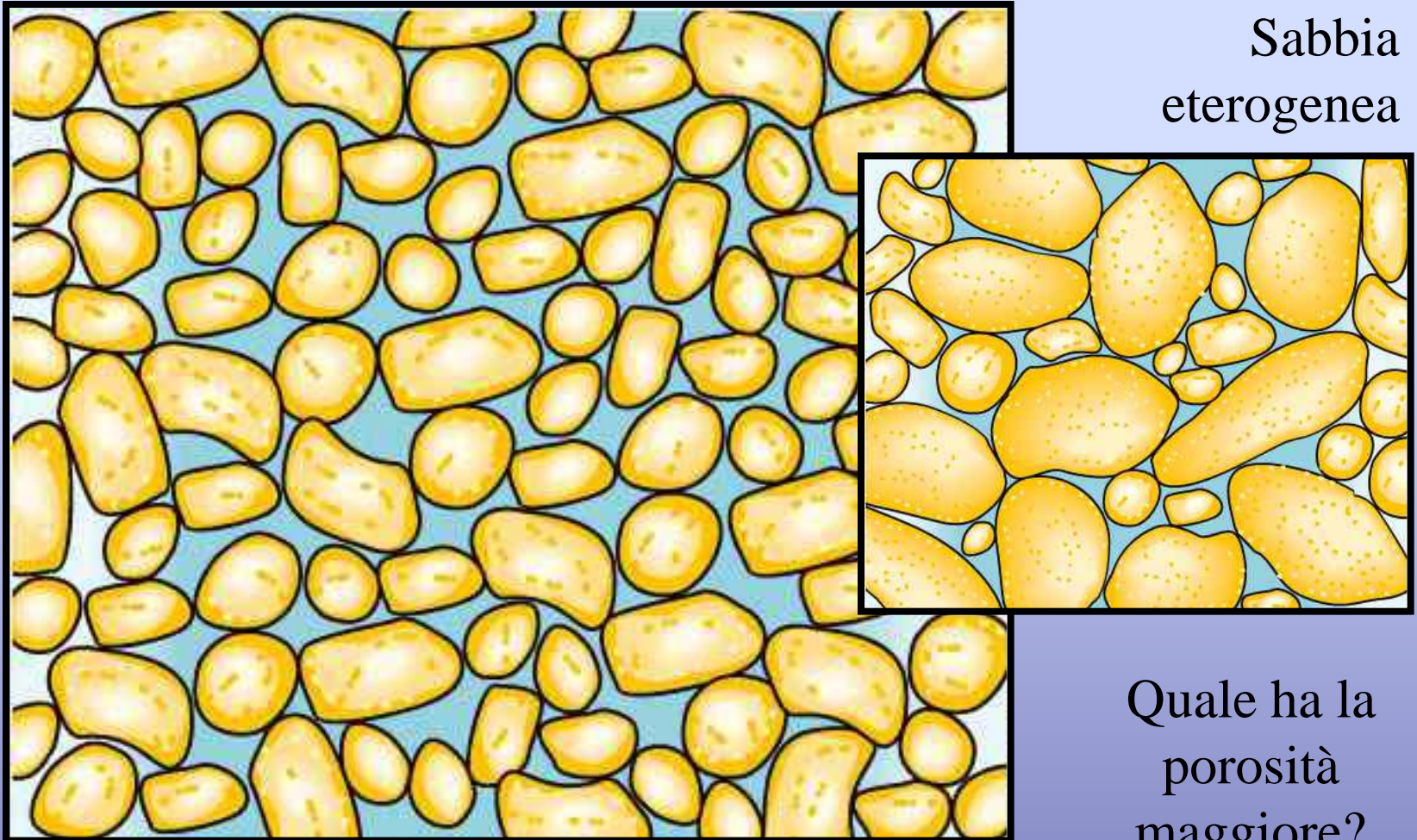
**Sabbie**

Grano di sabbia

# Effetto della cernita

Sabbia monogranulare (ben cernita)

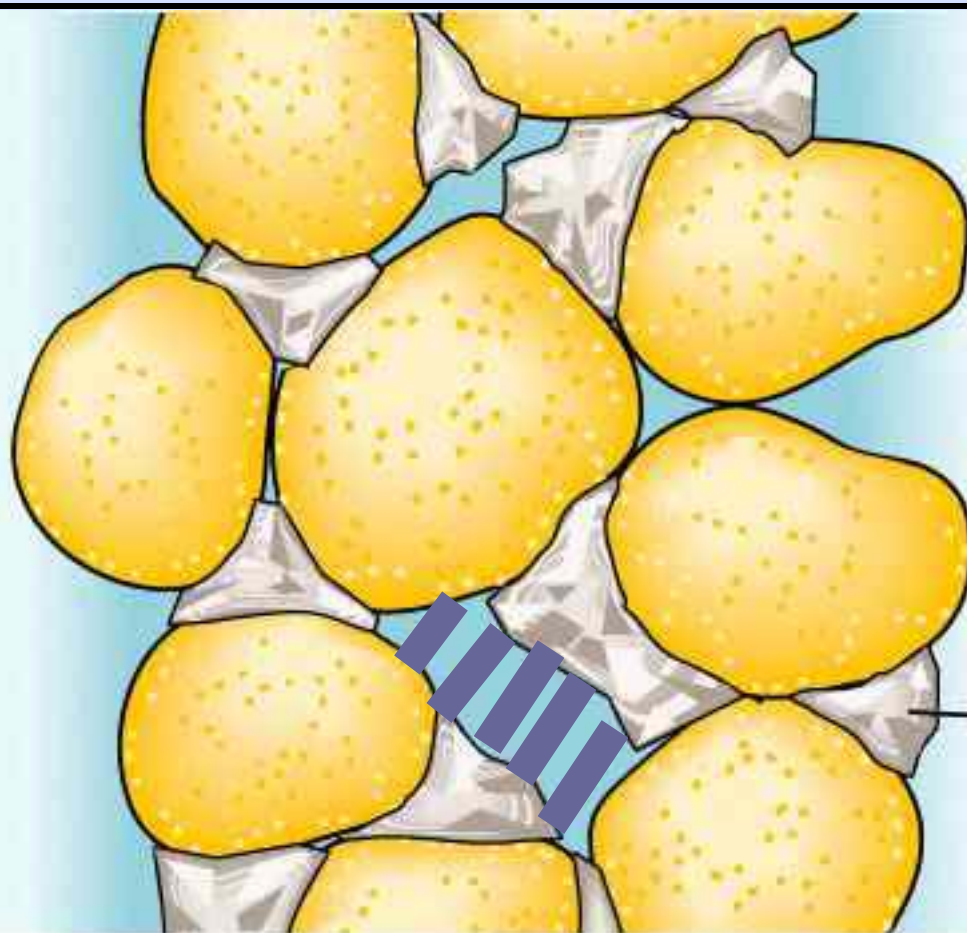
Sabbia eterogenea



Quale ha la  
porosità  
maggiore?



# Cementazione

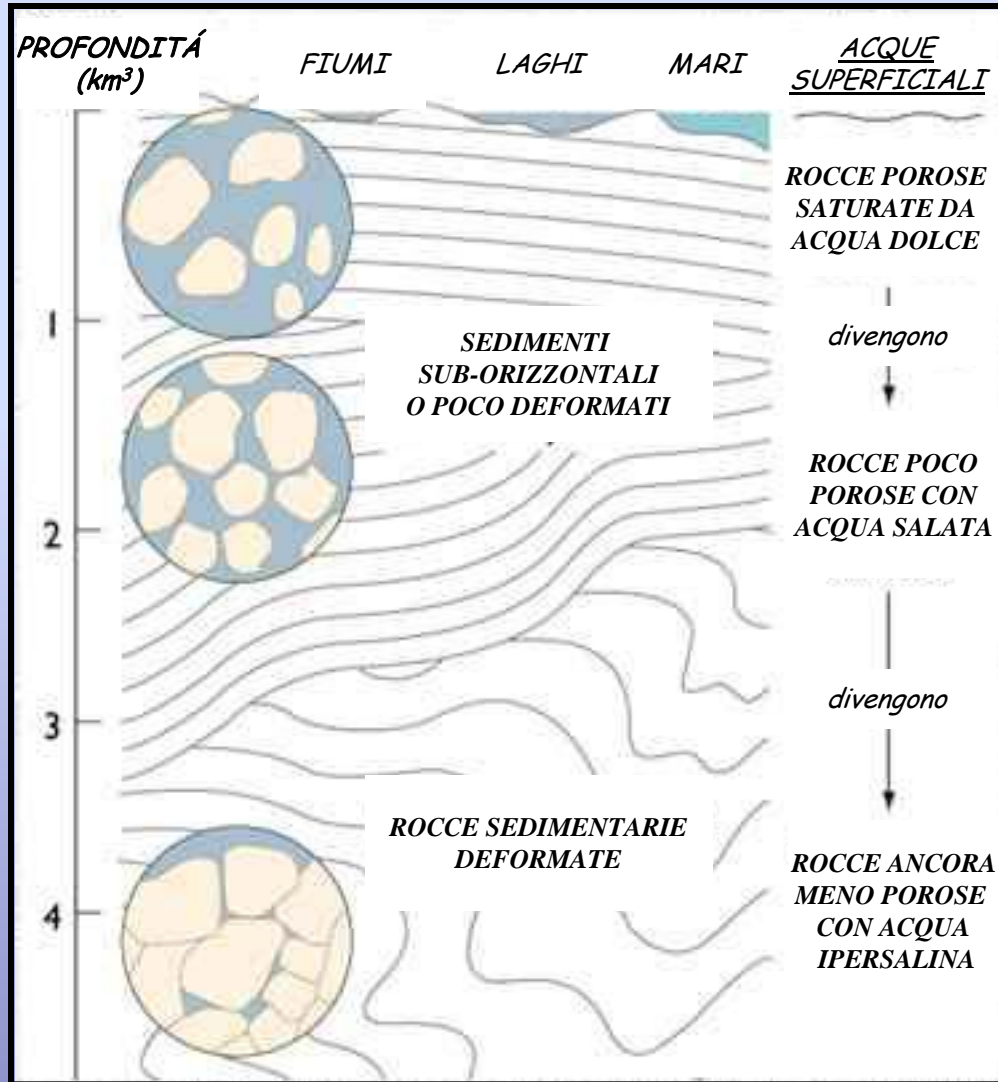


La cementazione  
(quarzo, calcite)  
può anche  
obliterare del tutto  
la porosità

CEMENTO

ARENARIA

# Porosità e profondità



- Sedimenti sciolti, non litificati
- Sedimenti assestati, parzialmente cementati
- Rocce sedimentarie litificate e compatte

rocce sciolte		rocce compatte	
tipo di roccia	porosità totale (%)	tipo di roccia	porosità totale (%)
Ghiaie	25 ÷ 40	calcari	3 ÷ 20
sabbie e ghiaie	25 ÷ 30	calcari oolitici	5 ÷ 20
sabbie	25,95 ÷ 47,64	<i>craie</i>	15 ÷ 45
depositi alluvionali recenti	5 ÷ 15	basalti	0,1 ÷ 3
argille	45 ÷ 50	arenarie	5 ÷ 25
marne	45 ÷ 50	dolomie	2 ÷ 10
fanghi freschi	80 ÷ 90	graniti	0,02 ÷ 1,5
limi	35 ÷ 50	gessi	2 ÷ 8

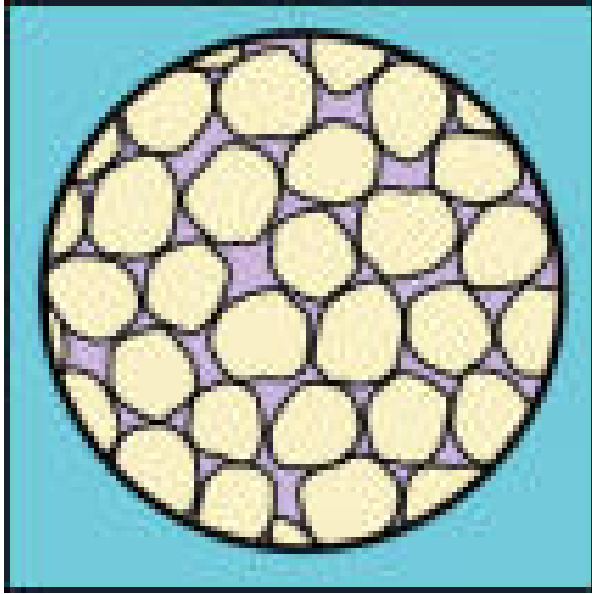
VALORI DI  
POROSITÀ  
TOTALE  
ED  
EFFICACE  
(da Celico)

tipo di roccia	porosità efficace (%)	tipo di roccia	porosità efficace (%)
ghiaie	20 ÷ 30	dolomie	2 ÷ 5
sabbie e ghiaie	15 ÷ 25	calcari	2 ÷ 10
sabbie	5 ÷ 20	<i>craie</i>	2 ÷ 5
limi	1 ÷ 5	rocce intrusive e metamorfiche	0,1 ÷ 2
depositi alluvionali recenti	8 ÷ 10	lave	8 ÷ 10
sabbie argillose	5 ÷ 10	calcari marnosi	1 ÷ 3

La porosità è importante ma...

...non è tutto!!!

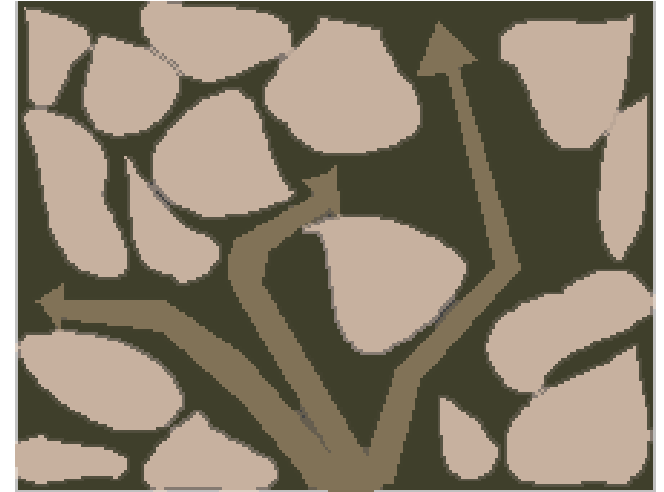
## Porosità



Attitudine a contenere

**ACQUA**

## Permeabilità



Attitudine a trasmettere

Taglia, Forma, Connessione

Porosità  Permeabilità

**Alcune rocce hanno alta porosità, ma bassa permeabilità!!**



**Pomice**

**Interconnessione**

**Porosa**

**ma Non Permeabile**

**Alta Porosità, ma Bassa Permeabilità**

**Argilla**

**Pori piccoli**

**Porosa**

**Ma Non Permeabile**

**Sabbia**

**Porosa e Permeabile**

# *Legge di Darcy*

- Fornisce una descrizione accurata del flusso di acqua sotterranea in quasi tutti i contesti geologici

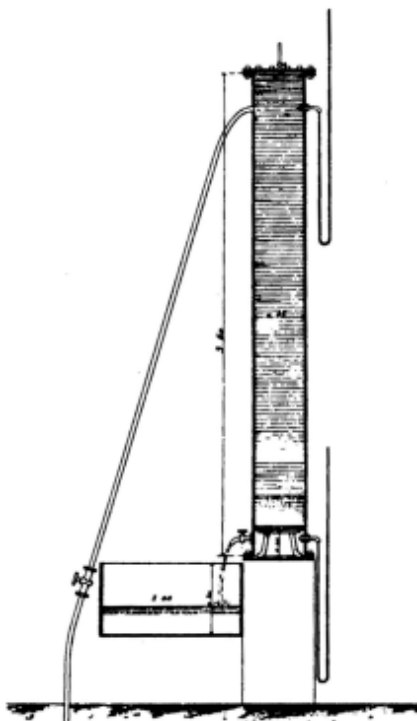
# Henry Darcy



francese di Digione

Ingegnere idraulico

“Fontaniere reale”



“Le fontane pubbliche  
della città di Digione”  
(1856)

**Primo studio sistematico  
del flusso dell'acqua  
attraverso il mezzo poroso**

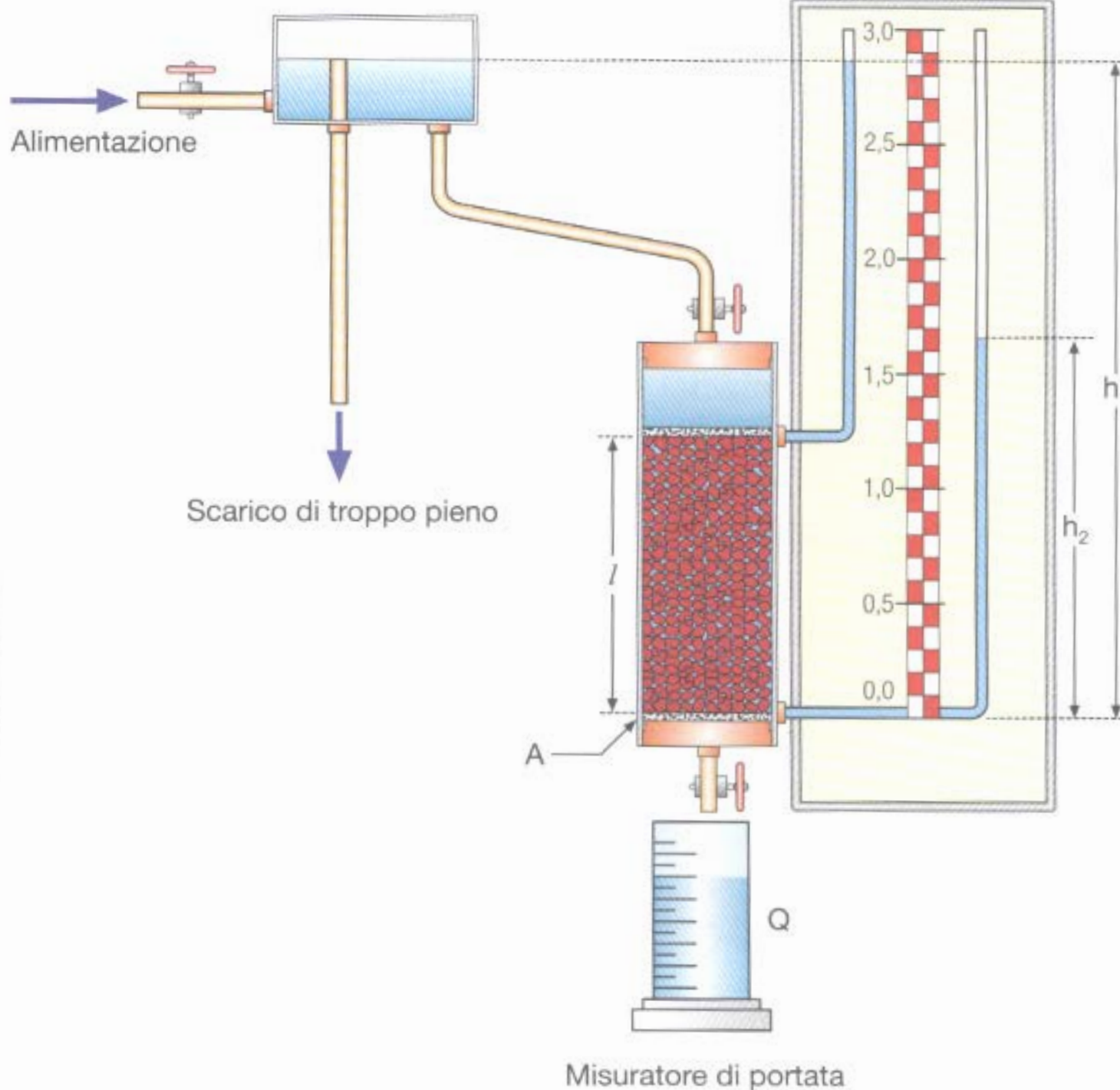


## The Public Fountains of the City of Dijon

Henry Darcy, 1856

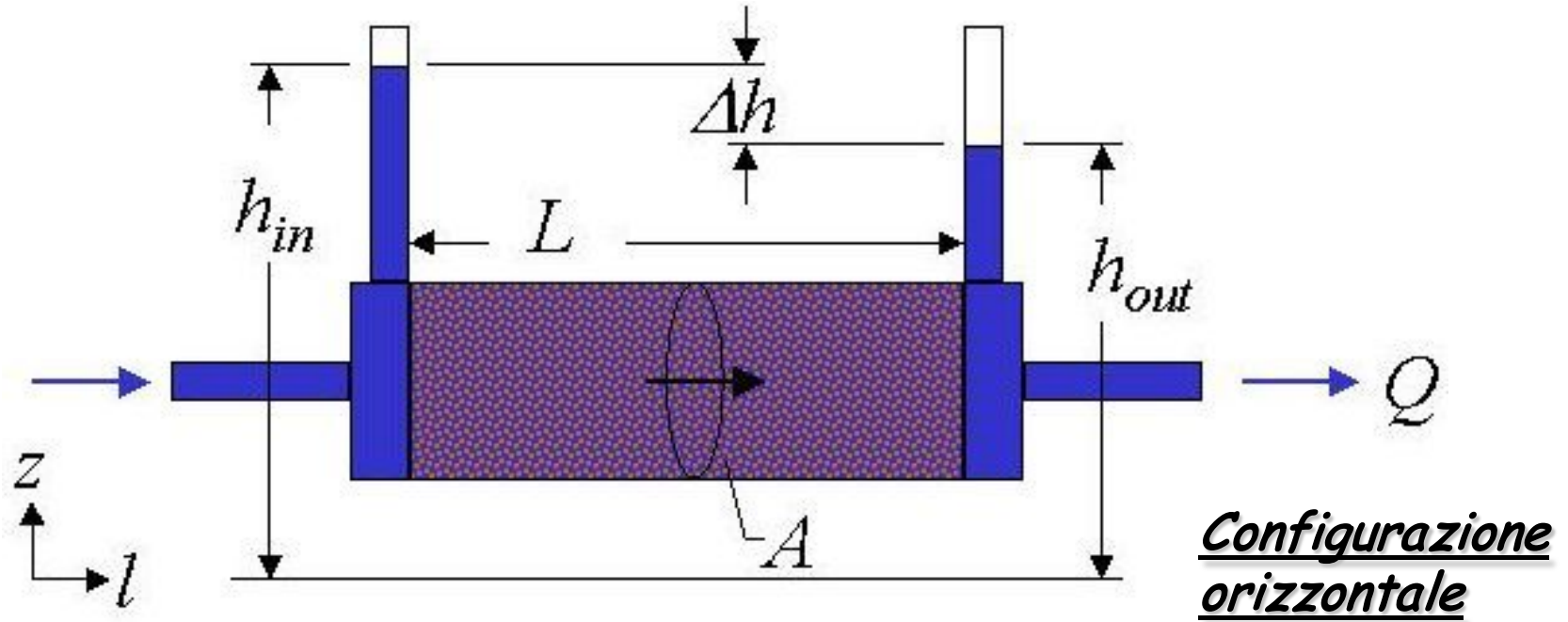
English Translation by Patricia Bobeck





## Esperimento di Darcy

Configurazione originale verticale



## Sezione trasversale (A)

- Più grande la sezione, maggiore la portata (Q)

## Lunghezza della colonna (L)

- Aumenta la lunghezza, Q diminuisce.

## Differenza di carico ( $h_{in} - h_{out}$ )

- Portata proporzionale a differenza di carico

# Cosa è K?

**K = Conducibilità idraulica = coefficiente di permeabilità**

**Quale è la unità di misura di K?**

$$Q = -KA (\Delta h / L) \quad \text{si ottiene} \quad K = QL / A (-\Delta h)$$

$$\frac{L}{T} = \frac{\cancel{L}^3 \times L}{T \times \cancel{L}^2 \times \cancel{L}}$$

**Maggiore K, maggiore Q**

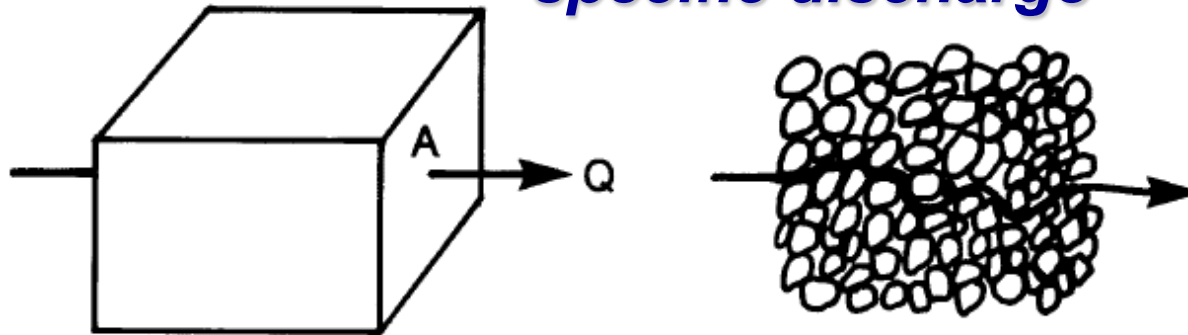
$$Q = -KA (\Delta h / L)$$

si ottiene

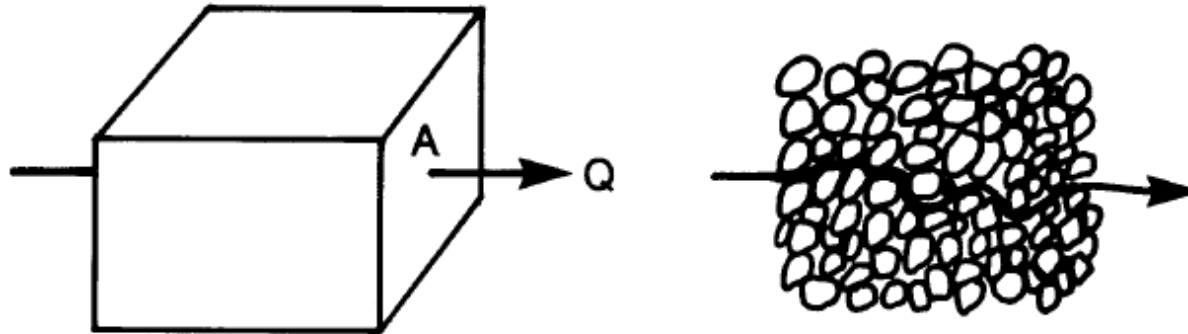
$$q = \frac{Q}{A} = -K (\Delta h / L)$$

**q = portata specifica (velocità Darciana)**

*specific discharge*



“velocità apparente” –velocità se non ci fossero granuli nel condotto



$$q = \frac{Q}{A} = -K (\Delta h / L)$$

## Velocità reale – Velocità lineare media?

Considera solo lo spazio disponibile per il flusso

Acqua fluisce solo attraverso i pori

Area di flusso = porosità x area

$$\text{Velocità lineare media} = v = \frac{Q}{n_e A} = \frac{K_x i}{n_e}$$

# *Velocità Darcy & Velocità reale di filtrazione*

- La velocità Darcy è una velocità fittizia dato che assume che il flusso avvenga sfruttando tutta la luce della sezione di mezzo poroso trasversale al flusso. Il flusso in realtà ha luogo attraverso pori interconnessi.





**I sedimenti hanno un ampio range di K (m/s)**

**Argilla**  $10^{-11} - 10^{-8}$

**Limo**  $10^{-8} - 10^{-6}$

**Sabbia limosa**  $10^{-6} - 10^{-5}$

**Sabbia**  $10^{-5} - 10^{-3}$

**Ghiaia**  $10^{-4} - 10^{-2}$



# Range di K –

## Permeabilità per porosità

## Permeabilità per frattura

- Ghiaia ben cernita  $10^{-3} - 10^{-2}$  m/s.
- Sabbia ben cernita  $10^{-4} - 10^{-3}$  m/s.
- Limo  $10^{-6} - 10^{-5}$  m/s.
- Argilla  $10^{-10} - 10^{-7}$  m/s.
- Roccia  $10^{-13} - 10^{-10}$  m/s.
- Roccia fratturata  $10^{-8} - 10^{-2}$  m/s.  
o alterata

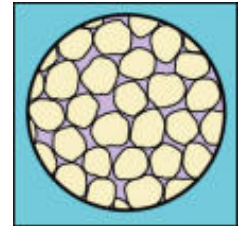


**K** è funzione di ambedue:

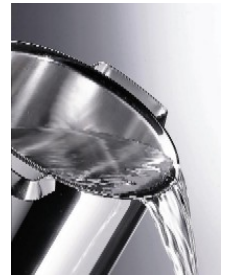
$$K = k_i (\rho g / \mu)$$

**Mezzo poroso**

**Mezzo poroso**



**Fluido**



**Permeabilità intrinseca ( $k_i$ )  
(funzione dimensione pori)**

**Fluido**

**Densità ( $\rho$ )  
Viscosità ( $\mu$ )** } **funzione della temperatura**

# k e K

- Permeabilità intrinseca (*Permeability*) ( $k$ ), con dimensioni di un'area  $[L^2]$
- Unità di misura per  $k$   
1 Darcy =  $9.87 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$
- Conducibilità idraulica (*Hydraulic Conductivity*) ( $K$ ), con dimensioni di una velocità  $[LT^{-1}]$  dipende dalle proprietà sia del mezzo poroso che del fluido:

$$K = k \times \gamma_w / \mu_w$$

dove  $\mu_w$  è la viscosità dell'acqua  $[FL^{-2}T]$  e  $\gamma_w$  è il peso specifico  $[FL^{-3}]$

# Esempio di fessura



# Permeabilità nelle rocce fratturate

---

- ◆ Dipende da apertura, frequenza, interconnessione, orientazione, persistenza, rugosità e riempimento delle fratture



# Riassunto

- Definizione di porosità totale
- Definizione di porosità efficace
- Fattori della porosità primaria
- Valori di porosità per una sabbia
- Valori di porosità per una argilla
- Valori di porosità efficace per una sabbia ed un calcare

# Riassunto

- Conducibilità idraulica – Unità di misura
- Permeabilità intrinseca – Unità di misura
- $K$  per una sabbia e per una argilla
- Proprietà del fluido che agiscono su  $K$

# Riassunto

- Che tipo di legge è la legge di Darcy?
- Unità di misura di  $q$ ,  $K$ ,  $i$
- Velocità apparente e velocità effettiva